

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局



(43) 国际公布日:  
2003年1月16日(16.01.03)

PCT

(10) 国际公布号:  
WO 03/05086 A1

(51) 国际分类号: G02B 6/34, 6/293, H04J 14/02

(21) 国际申请号: PCT/CN01/01158

(22) 国际申请日: 2001年7月6日(06.07.01)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人(对除美国以外的所有指定国): 杭州科尔光信技术有限公司(HANGZHOU COER PHOTONIC INFORMATION TECHNOLOGIES LTD.)  
[CN/CN]; 中国浙江省杭州市金田花园4-1-402室, Zhejiang 310012 (CN)。

(72) 发明人: 及

(75) 发明人/申请人(仅对美国): 何赛灵(HE, Sailing)  
[SE/CN]; 中国浙江省杭州市求是村15幢69单元210室, Zhejiang 310013 (CN)。

(74) 代理人: 隆天国际专利商标代理有限公司(LUNG TIN INT'L PATENT & TRADEMARK AGENT LTD.);  
中国北京市朝阳区慧忠路5号远大中心B座18层, Beijing 100101 (CN)。

(81) 指定国(国家): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW

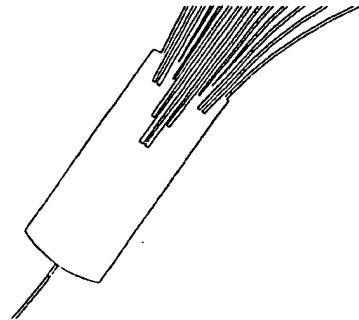
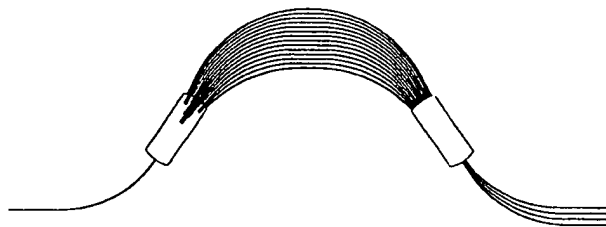
(84) 指定国(地区): ARIPO专利(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), 欧亚专利(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲专利(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI专利(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

本国际公布:  
— 包括国际检索报告。

所引用双字母代码和其它缩写符号, 请参考刊登在每期PCT公报期刊起始的“代码及缩写符号简要说明”。

(54) Title: ASYMMETRIC ARRAYED WAVEGUIDE GRATING DEVICE

(54) 发明名称: 非对称阵列波导光栅器件



WO 03/05086 A1

(57) Abstract: An asymmetric arrayed waveguide grating (AWG) device mainly includes an input-side coupler, arrayed waveguide and an output-side coupler, in which a non-circle arc edge between a free-space region in the input-side coupler and the arrayed waveguides is optimized; and the distance from an input waveguide to arrayed waveguide imports, the widths and the intervals of the imports are varied, so that the light intensity received by each waveguide in AWG has a certain distribution, reaching the highest general coupling efficiency, and the lengths of the arrayed waveguide have been adjusted, and field distribution at the connection of free-space region and the arrayed waveguide in the out-side coupler is conformed to the predetermination that is sinc function divided by a gaussian function, i.e. channel frequency spectral response having flat top and steep edge.



---

**(57) 摘要**

一种非对称阵列波导光栅 (AWG) 器件, 包括输入耦合器, 阵列波导和输出耦合器, 其中输入耦合器中的自由传输区和阵列波导的接触线是一条经优化的曲线而非圆弧线, 从输入波导到阵列波导入口的距离及阵列波导入口宽度和间距是变化的, 使得 AWG 中的每条波导所接收的光能量按一定的规律变化, 同时达到最大的总耦合效率, 阵列波导的波导长度也经调整使得输出耦合器中的自由传输区和阵列波导连接处的场分布和预先决定的一致, 是个 SINC 函数除以高斯函数, 以获得顶部充分平坦及边沿充分陡峭的通道频谱响应曲线。

## 非对称阵列波导光栅器件

### 技术领域

本发明涉及一种非对称阵列波导光栅 (AWG) 器件, 特别涉及一种具有最佳频谱通带响应和最小损耗的非对称阵列波导光栅器件。

### 背景技术

波分复用(解复用)器件和路由器件是光通信网络中的关键器件, 其中, 阵列波导光栅 (AWG) 器件已经被广泛地应用于波分复用 (WDM) 系统中。传统类型的 AWG 波分复用器件的一个问题是它的频谱通带有一个尖峰的形状, 也就是说, 在中心波长时有最大的通过率, 而当波长偏移这个中心波长时, 通过率会迅速的下降。这样, 在光网络中所有的光信号的波长都必须非常精确以避免系统性能的下降。这导致了对整个光网络及其中的器件的设计和制造都要用严格的要求。

把不同波长的光复合为一束光及把一束复合光分离为不同波长的光的器件分别称作复用器(合波器)和解复用器(分波器), 一般来说, 同一个 AWG 能同时作为复用器和解复用器, 它们唯一的不同在于光通过器件的方向是相反的, 为方便起见, 下面只对解复用器作介绍, 本发明对复用器也适用。

当 AWG 器件作为分波器时, 它由输入波导、第一星形耦合器(输入耦合器)、相邻波导之间有光程差的阵列波导、第二星形耦合器(输出耦合器)、多条输出波导所组成; 每条输出波导接收一个不同波长的光, 第一星形耦合器把输入的复合光耦合到阵列波导中, 阵列波导光栅对不同的波长的色散功能, 使得经过第二星形耦合器后不同的波长的光聚焦在不同的输出波导。

在很多应用中, AWG 器件的输入、输出波导都是单模的, 输入、输出波导的横向光场分布通常可以用高斯函数来近似, 对一个特定通道的中

心波长，输入场分布经过 AWG 成像在输出波导上，如果像的场分布和输出波导的模场分布的中心是对齐的，那么我们就可以得到最大的耦合效率。当波长偏离中心波长时，像的场分布和输出波导的模场分布的中心也会发生偏移，这样耦合效率就会随之降低，这两个模场分布的重叠积分决定了通道的频谱响应，这个响应近似为高斯函数。

理想的频谱响应的形状为矩形函数，响应曲线的顶部越平越好，这样就可以尽可能地增大每个通道的带宽，减小在这个通带内的光强变化；同时频谱曲线的两边应尽可能的陡，这样可以减小相邻两通道之间的串扰。

已经有好几种技术被用来改善频谱响应的形状，美国专利号：5412744，公开一种：“具有宽的、足够平的通带频率路由器件(Frequency routing device having a wide and substantially flat passband)”的专利，给出了一种使频谱响应平坦的方法，在这种方法中，通过使用 Y 形连接器把两个相邻输出波导接收到的光复合起来，在这种方法中，为了保持所需要的串扰水平，在相邻输出波导对之间要有额外的空间，这种器件能够得到的通道数和通道带宽受到了严重的限制。

在另一篇题为：“平坦化的频谱响应的相位阵列分波器”(A phased-array wavelength demultiplexer with flattened wavelength response)，作者：M. R. Amersfoort 等，刊登在“电子快报”(Electronics Lett.) 第 30 卷，No.4，1994 的文章中，采用多模输出波导来使频谱响应平坦化，在接收器中把多模输出波导和探测器连接起来是可能的，但是这种器件不能被用来在单模的光网络中来路由不同波长的信号。

美国专利号：6141152，公开一种：“频谱响应平坦化的合波器/分波器”(Multiplexer/Demultiplexer with flattened spectral response)的专利，通过在 AWG 使用多个光栅环(multiple-grating-circle)的设计，使多个输入模场分布的像投射到输出波导上，这样，综合的频谱响应能够平坦化，通带变宽，但是频谱响应曲线的两个边缘部分不能得到

改善，而且插入损耗也会严重的增加。

在另一篇题为：“频谱响应平坦化的阵列波导光栅合波器” (Arrayed-waveguide grating multiplexer with flat spectral response) 的文章中，作者：K. Okamoto, H. Yamada, 刊登在“光学快报” (Optics Lett.) 第 20 卷, No.1 pp.43-45, 1995, 根据 sinc 函数的分布，把 AWG 的相位和幅值进行改变，从而使频谱响应平坦化，幅值分布的实现是通过变化在第一个条形阵列的界面上的波导孔径，这种方法一个主要的缺点是由于在第一个耦合器的低耦合效率，使得插入损耗严重的增加。

在另一篇题为：“应用 Fourier 光学原理使相位阵列波长路由器的频谱响应平坦化的设计及模拟”，作者：N. Kim, Y. Chung, 刊登在“集成光学研究文集” (Proceeding of Integrated Photonics Research), IWA1, p.361-363, 1998, 根据 sinc 函数的分布，在第二星形耦合器把 AWG 的条形波导界面上的幅值分布进行调整，这与上面提到的 Okamoto 的方法相似。幅值分布的实现是通过在 AWG 中的每条波导引入不同的损耗。这种幅值调整方法在实际操作中非常难以控制，而且也会严重的增加器件的插入损耗和串扰。

图 1 所示的是一传统的阵列波导光栅。其中自由传输区 20 与多条输入波导  $I_k$  ( $k=1, 2, \dots, N$ ) 相连，阵列波导 30 连接自由传输区 20 和自由传输区 40，自由传输区 40 与多条输出波导  $O_k$  ( $k=1, 2, \dots, N$ ) 相连的。阵列波导 30 中各条波导具有不同长度，相邻波导间由此产生相应的光程差，实现和光栅相似的功能。这种器件可用作复用器、解复用器或波长路由器。例如，当这个器件作为解复用器时，一个包含多个波长的复合光信号耦合到其中一条输入波导，各个波长信道被阵列波导光栅分开并聚焦到各个输出波导。

尽管在解复用的过程中只需要使用一条输入波导，但为了能够选择使用不同的输入波导，通常设计成多条输入波导。选择不同的输入波导

可以改变输出波导的信道波长。若用作波长路由器（如  $N \times N$ ），则多个输入和输出同时被使用。因此，和输出端的星型耦合器相似，输入端星型耦合器里的自由传输区和阵列波导光栅的界面处的阵列波导必须等间距地排列在一个圆弧上。因而，即使输入波导在有些设计中在宽度、间距、数量等方面和输出波导会有所不同，阵列波导光栅本身大致上是对称的。

然而，对于大多数解复用的应用，只需一条输入波导。这种情况下，第一个星型耦合器相当于一个  $1 \times N$  的分束器。所以在第一个星型耦合器的自由传输区和阵列波导光栅的界面处阵列波导不必等间距地排列，也不必在圆弧上。利用这些额外的自由度，可以进一步优化星型耦合器的其它一些性能，如在阵列波导处产生一定的场分布并同时得到最大的总耦合效率，另外通过与阵列波导中的相位调整相结合，可以以最小损耗获得一个想获得的频谱响应。

### 发明的公开

本发明的主要目的是在于提供一种非对称阵列波导光栅器件，通过一种非对称的 AWG 器件的设计，使其频谱相应能够平坦化，通带变宽，而且器件的插入损耗和串扰减少。

为实现本发明的目的，我们提出一种非对称阵列波导光栅器件，输出耦合器的设计和传统的 AWG 设计类似（即 AWG 的波导尾端沿着圆周均匀地排列），而输入耦合器及其波导尾端的设计却不同，因此这样设计的器件一般是非对称的。

我们提出的一种非对称阵列波导光栅器件，其组成包括：

至少一条输入波导，其传输多个不同波长的复合信号；

一输入分束耦合器，与所述的输入波导相连接，并接收来自输入波导的复合信号；

一阵列波导光栅，其由多条不同长度的波导所组成，并与所述输入

分束耦合器连接；

一星型聚焦耦合器，连接所述的阵列波导光栅，它将不同波长的信号的角色散转化为有一条聚焦线的空间位移色散；

多条输出波导，其与所述星型聚焦耦合器耦合，各条输出波导尾端就排列在星型聚焦耦合器的聚焦线上，并分别传输一个不同波长的光信号；

其中所述的输入分束耦合器连接所述的阵列波导光栅和输入波导，阵列波导光栅的各条波导尾端并不沿圆周等间距地排列，输入波导和阵列波导光栅的每一条波导间的耦合系数是一个预先确定的分布函数。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中所述的阵列波导与输入端输入分束耦合器交界处，其每条波导尾端的位置和输入波导尾端之间有不同的距离。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中在所述的阵列波导光栅中，其每条波导和输入分束耦合器的连接端有不同的入口宽度。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中在所述的阵列波导光栅中，其每条波导和输入分束耦合器的连接端之间有不同的波导中心至波导中心距离，这样使总的耦合效率最大。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中在所述的阵列波导光栅中，其每条波导的连接端位于以输入波导末端为中心的圆弧上，但是有不同的入口宽度和不同的波导间中心距离，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数，同时使总的耦合效率最大。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中所述的输入分束耦合器是一多级 1x2 Y 型波导输入分束耦合器。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中所述的多级输入分束耦合器是非对称的 Y 型波导耦合器，有非平衡的耦合系数，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中输入波导与所述的阵列波导光栅的每条波导之间的幅值耦合系数经过调整使得输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布具有预先决定的分布函数，以使得每个通道的频谱响应曲线的顶部足够平坦而边缘足够陡。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中所述的预先决定分布函数是一个 sinc 函数除以一个高斯函数，所述 sinc 函数基本上和所需的频谱响应函数的傅立叶逆变换一致，而所述高斯函数基本上和输出波导的模场分布函数的傅立叶逆变换相同，该傅立叶变换与聚焦星型耦合器的光学性质相对应。

所述的非对称阵列波导光栅器件，其中所述阵列波导光栅的每条波导的长度要做调整，除了在相邻波导之间产生等于某一给定通道波长的  $2\pi$  的整数倍相位差外，还要补偿由上述耦合器引入的相位差，并在所述这些波导中，产生上述预先决定的输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布函数为负值时所需的  $\pi$  相移。

另一种非对称阵列波导光栅器件，其组成包括：

至少一条输入波导，其传输多个不同波长的复合信号；

一输入分束耦合器，与所述的输入波导相连接，并接收来自输入波导的复合信号；

一阵列波导光栅，其由多条不同长度的波导所组成，并与所述输入分束耦合器连接；

一星型聚焦耦合器，连接所述的阵列波导光栅，它将不同波长的信号的角色散转化为有一条聚焦线的空间位移色散；

多条输出波导，其与所述星型聚焦耦合器耦合，各条输出波导尾端就排列在星型聚焦耦合器的聚焦线上，并分别传输一个不同波长的光信号；

其中还包括一个光衰减器或放大器，其至少使用在所述阵列波导光栅中的一部分波导中，它们与所述的输入波导和阵列波导光栅的波导的



耦合系数相结合,使得在阵列波导光栅和输出端聚焦星型耦合器的界面处产生了一个确定的光强分布函数,这个光强分布函数等于一个 sinc 函数除以一个高斯函数,从而获得一个顶部平坦两边陡峭的通道光谱响应曲线。

所述的非对称阵列波导光栅器件,其中所述的 sinc 函数是通过对所需频谱响应作傅立叶逆变换获得的,所述高斯函数则是对单通道输出波导的模场分布作傅立叶逆变换获得的,而该傅立叶变换与聚焦星型耦合器的光学性质相对应。

所述的非对称阵列波导光栅器件,其中所述阵列波导光栅的每条波导的长度要做调整,除了在相邻波导之间产生等于某一给定通道波长的  $2\pi$  的整数倍相位差外,还要补偿由所述输入分束耦合器引入的相位差,并在一些波导中,产生所述预先决定的输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布函数为负值时所需的  $\pi$  相移。

#### 附图说明

图 1 是对应于现有技术的传统 AWG 波分复用器件的示意图;

图 2(a) 是本发明实施例之一的非对称 AWG 波分复用器件的示意图;

图 2(b) 是图 2a 中输入端星型耦合器的放大图样;

图 3 是本发明另一个实施例的输入星型耦合器的放大图样;

图 4 是本发明另一个实施例的输入端多级分离器的放大图样;

图 5 是传统 AWG 在耦合器中的自由传输区和 AWG 的连接处的场分布;

图 6(a) 是本发明的一个具体实施例的 AWG 器件在耦合器中的自由传输区和 AWG 的连接处的振幅分布图;

图 6(b) 是本发明的一个具体实施例的 AWG 器件在耦合器中的自由传输区和 AWG 的连接处的相位分布,该相位项是除去了传统的位相差  $2im\pi$ ;

图 7 是图 6 中 AWG 器件的频谱响应的模拟结果图与传统的 AWG 的频谱响应图相比较。

### 实现本发明的最佳方式

下面结合附图对本发明提出的非对称阵列波导光栅波分复用器件作进一步的说明如下：

图 2(a) 是本发明第一个实施例的非对称 AWG 器件的示意图，输出耦合器的设计和传统的 AWG 设计类似（即 AWG 的波导尾端宽度相同并沿着圆周均匀地排列），而输入耦合器的设计却非常不同。图 2(b) 是图 2(a) 中输入星型耦合器的放大图样，输入耦合器中的自由传输区和阵列波导的接触线是一条经优化的曲线（如 sinc 函数）而非圆弧线，从输入波导到阵列波导入口的距离连同波导入口宽度都是变化的，使得 AWG 中的每条波导所接收的光能量按照一个预定的函数变化。波导之间的间距也是经过调整而变化的，使总耦合效率达到最大。AWG 的波导的长度也经调整使得在输出端耦合器中的自由传输区和 AWG 的连接处的复数场（包括振幅和相位）分布和预先决定的一致，这样便可在输出通道处获得想要获得的频谱响应。

图 3 是本发明第二个实施例中的输入端星型耦合器的放大图样；输入耦合器中的自由传输区和 AWG 的连接点是在以输入波导尾端为圆心的圆周上的，这一点和传统的 AWG 相似。但是，输入星型耦合器的波导入口宽度和波导中心间距（在输入耦合器中的自由传输区和阵列波导的接触处）都是经过调整而变化的使得能够以最大的总耦合效率获得预想的振幅分布。和 Okamoto 和 H. Yamada 在文章（Optics Lett. 20,

p43-45, 1995）中设计的输入星型耦合器相比，自由传输区和 AWG 的连接处的相邻波导的中心间距不再是常数，而是和波导入口宽度一起调整的。如果器件被反方向操作，AWG 的波长色散特性将丧失。但当器件按照设计的光传播方向工作时，该自由度使得在波导入口宽度变化的同时达到耦合效率最大化。

应当指出的是尽管该器件不能反向用作解复用器，但根据光路可逆性质，它可反向用作复用器。

图 4 给出了本发明的第三个实施例；为了能够以最大的耦合效率获得预想的振幅分布，星型耦合器被替换成多级分束器（如  $1 \times 2$  的 Y 型分束器）。耦合器的分束比是根据阵列波导所要求的强度分布来设计的，原则上，高的耦合效率是可以得到的，因为除了制造上的瑕疵引起的损耗以外没有别的损耗。

与星型耦合器的波导均匀排列一个圆弧上不同，本发明中的耦合器/分束器对不同的路径引入了相差，这些光程差必须在 AWG 中通过调节波导长度来补偿，耦合器/分束器和 AWG 相结合必须在第二个（即输出端）星型耦合器的 AWG 和平面平板波导的界面处产生一个预先决定的强度和相位分布。

作为本发明的一个重要的实施例，为了使通道的频谱响应曲线顶部相对平坦及边沿相对陡峭，第二个星型耦合器中的自由传输区和 AWG 的连接处的场分布应该基本上是一个 sinc 函数除以一个高斯函数。这个 sinc 函数正好基本上和希望得到的频谱响应函数的傅立叶逆变换一致，而这个高斯函数基本上和输出波导的模场分布函数的傅立叶逆变换大致相同。该傅立叶变换是由聚焦星型耦合器的光学性质产生的。

假设我们想要得到一个矩形函数的频谱响应函数

$$S(\lambda) = \text{rect}\left(\frac{\lambda - \lambda_c}{\Delta\lambda}\right) \quad (1)$$

式中  $\lambda_c$  是某通道的中心波长， $\Delta\lambda$  是想要得到的通道频谱宽度。如先不考虑输出波导的模场分布函数的卷积效应，该频谱响应函数所对应的在输出波导平面上的场分布为

$$A(x) = \text{rect}\left(\frac{x - x_c}{\Delta x}\right) \quad (2)$$

其中  $x$  是输出波导平面上的坐标， $\Delta x = \beta \Delta\lambda$ ， $\beta = \frac{dx}{d\lambda}$  是光栅的色散常数。为了得到这个输出波导平面上的场分布，输出星型耦合器的 AWG 界面处的场分布应该是  $A(x)$  的傅立叶逆变换，即

$$A_g(u) = \int_{-\infty}^{\infty} A(x) e^{i2\pi ux} dx \quad (3)$$

其中  $u = \frac{nx'}{\lambda L}$ ,  $n$  是平面波导的有效折射率,  $L$  是输出星型耦合器的长度,  $x$  是 AWG 光栅与输出星型耦合器界面处的坐标。当  $A(x)$  是矩形函数时(我们以中心输出波导为例, 即  $x_c=0$ ),  $A_g(u)$  是一个 sinc 函数, 即

$$A_g(u) = \Delta x \cdot \text{sinc}(\Delta xu) = \frac{\sin(\pi \Delta xu)}{\pi u} \quad (4)$$

所以在不考虑输出波导的模场分布函数的卷积效应的情形下, AWG 光栅与输出星型耦合器界面处的场分布可以写成

$$A_g(x') = \frac{\lambda L \sin(\pi \beta \Delta \lambda n x' / \lambda L)}{\pi n x'} \quad (5)$$

现在让我们考虑输出波导的模场分布函数的卷积效应。由于频谱响应函数对应输出波导平面上的场分布与输出波导的模场分布函数的卷积, 为了得到一个接近矩形函数的频谱响应, 输出波导平面上的场分布  $A(x)$  应满足的方程由等式 (2) 变为

$$A(x) \otimes G(x) = \text{rect}\left(\frac{x-x_c}{\Delta x}\right) \quad (6)$$

其中  $G(x)$  是输出波导的归一化模场分布函数, 一般可近似为一个高斯函数。  $G(x)$  可表达为

$$G(x) = \left(\frac{2}{\pi w_0^2}\right)^{\frac{1}{4}} e^{-\frac{x^2}{w_0^2}} \quad (7)$$

其中  $w_0$  为该高斯模场分布的束腰宽度。

对等式 (6) 作傅立叶逆变换, 我们可得到

$$A_g(u) G_g(u) = \frac{\sin(\pi \Delta xu)}{\pi u} \quad (8)$$

其中  $G_g(u)$  是  $G(x)$  的傅立叶逆变换, 即

$$G_g(u) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x) e^{i2\pi ux} dx = \left(2\pi w_0^2\right)^{\frac{1}{4}} e^{-\pi^2 w_0^2 u^2} \quad (9)$$

将  $u = \frac{nx'}{\lambda L}$  代入 (9) 式, 我们得到

$$G(x') = G_s\left(\frac{nx'}{\lambda L}\right) = \left(2\pi w_0^2\right)^{\frac{1}{4}} e^{-\frac{\pi^2 w_0^2 n^2 x'^2}{\lambda^2 L^2}} \quad (10)$$

这实际上是输出波导模式在输出星型耦合器的 AWG 界面处的远场分布函数，它也是一个高斯函数，其束腰宽度为  $w = \frac{\lambda L}{\pi n w_0}$ 。所以等式 (5)

可被修正为

$$A_s(x') = \frac{\lambda L \sin(\pi \beta \Delta \lambda n x' / \lambda L)}{\pi n x' G(x')} \quad (11)$$

在 K.Okamoto 和 H.Yamada 的题为“具有平坦光谱响应的阵列波导光栅复用器”和 N.Kim 以及 Y.Chung 的题为“利用傅利叶光学概念的具有平坦响应的相位阵列波长路由器的设计和模拟”论文中，AWG 的强度和相位分布根据一个 sinc 函数分布来调整，在这种情况下，输出波导平面上的场分布基本上类似于一个矩形函数。但是，其光谱响应曲线的形状基本上等于该场分布和模式场分布（基本上是高斯型的）的卷积。这会导致光谱响应曲线两侧边的斜率变化缓慢，尽管带宽得到宽化和平坦化。

通过依据 sinc 函数除以一个高斯函数来调整在输出星型耦合器的 AWG 界面处的场分布，通道光谱响应（而不是输出平面的场分布）基本上变成了一个矩形函数。所以这个结果比前述方法大有改善。

作为一个具体的设计例子，我们选取了如下的设计参数：

自由传播区长度  $L=4950.355\mu\text{m}$ ，

自由传播区有效折射率  $n_s=1.468$ ，

波导有效折射率  $n_{wg}=1.465$ ，

中心波长为  $1.55\mu\text{m}$ ，

通道频率间隔  $\Delta f=100\text{GHz}$ ，

$n_s \Delta \lambda = 0.7\text{nm}$ ，( $\Delta \lambda$  为我们希望得到的通带频谱宽度)，

阵列光栅级数  $m=72$ ，

阵列光栅波导数  $N=141$ ，

等效高斯光束束腰半径  $w_0=4.25\mu\text{m}$ ，

AWG 波导之间的中心距  $d=8.\mu\text{m}$ ,

接收波导之间的中心距为  $24.305 \mu\text{m}$ ,

$$= dx/d\lambda = mL/nsd.$$

图 5 是传统的 AWG 在输出星型耦合器的 AWG 和平面平板波导的界面处的高斯型强度分布。

图 6a 是依据本发明一个重要的实施例在输出星型耦合器的 AWG 和平面平板波导的界面处强度分布的一个例子, 图 6b 是相应的相位分布, 相位项附加于普通的  $2im\pi$  上,  $i=1,2,3,\dots,M$ ,  $M$  是 AWG 的波导数目,  $m$  是光栅级数, 应指出的是 sinc 函数的负号对应于一个  $\pi$  相位因子。

图 7 是图 6 中我们设计的 AWG 示例的模拟光谱响应 (实线), 另外附加了传统的 AWG 光谱效应 (虚线) 以作比较。我们发现, 光谱响应曲线的顶部得到宽化和平坦化, 而两边边缘变陡。

正如前面所列出的, 我们可以用多种方法在输出星型耦合器的 AWG 界面处实现 sinc 函数除以一个高斯函数 (即公式 (11)) 的场分布。比如, 我们知道 AWG 每条波导入口的不同漏斗 (funnel) 设计参数 (如开口宽度) 将对应不同的耦合系数, 我们可以画出耦合系数和漏斗的开口宽度的关系图。因此我们只要调节不同位置的阵列波导的漏斗开口宽度就能得到所要求的耦合系数分布。要在输出星型耦合器的 AWG 界面处实现公式 (11) 的场分布, AWG 输入端的耦合系数分布应为公式 (11) 再除以一个高斯函数  $G1(x)$ , 其中  $G1(x)$  为基模从中心输入波导输入时阵列波导入口处的场分布。

在不背离本发明的精神的前提下可以对本发明做一些变化和调整。通常情况下, 也可以利用本发明的某些特征而不利用另一些特征, 比如说场分布可以为与频谱平坦化不同的其它目的而优化, 因此, 凡在本发明的精神范围内所作的一些显而易见的变化, 都应包括在本发明的权利要求的保护范围内。

### 工业应用性

综上所述，我们提出的非对称阵列波导光栅器件，其根据不同功效分别优化输入分束耦合器，使其成为一非对称阵列波导光栅，该非对称阵列波导光栅的频谱响应平坦，通带变宽，而且器件的插入损耗和串扰减少。

## 权利要求

1. 一种非对称阵列波导光栅器件，其组成包括：

至少一条输入波导，其传输多个不同波长的复合信号；

一输入分束耦合器，与所述的输入波导相连接，并接收来自输入波导的复合信号；

一阵列波导光栅，其由多条不同长度的波导所组成，并与所述输入分束耦合器连接，输出多条不同波长的单色光；

一星型聚焦耦合器，连接所述的阵列波导光栅，它将不同波长的信号的角色散转化为有一条聚焦线的空间位移色散；

多条输出波导，其与所述星型聚焦耦合器耦合，各条输出波导尾端就排列在星型聚焦耦合器的聚焦线上，并分别传输一个不同波长的光信号；

其特征在于，所述的输入分束耦合器连接所述的阵列波导光栅和输入波导，阵列波导光栅的各条波导尾端并不沿圆周等间距地排列，输入波导和阵列波导光栅的每一条波导间的耦合系数是一个预先确定的分布函数。

2. 如权利要求1所述的非对称阵列波导光栅器件，

其特征在于，所述的阵列波导与输入分束耦合器交界处，其每条波导尾端的位置和输入波导尾端之间有不同的距离。

3. 如权利要求2所述的非对称阵列波导光栅器件，

其特征在于，在所述的阵列波导光栅中，其每条波导和输入分束耦合器的连接端有不同的入口宽度。

4. 如权利要求3所述的非对称阵列波导光栅器件，

其特征在于，在所述的阵列波导光栅中，其每条波导和输入分束耦合器的连接端之间有不同的波导中心至波导中心距离，这样使总的耦合效率最大。



5. 如权利要求 1 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，在所述的阵列波导光栅中，其每条波导的连接端位于以输入波导末端为中心的圆弧上，但是有不同的入口宽度和不同的波导间中心距离，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数，同时使总的耦合效率最大。

6. 如权利要求 1 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，所述的输入分束耦合器是一多级  $1 \times 2$  Y 型波导输入分束耦合器。

7. 如权利要求 6 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，所述的多级输入分束耦合器是非对称的 Y 型波导耦合器，有非平衡的耦合系数，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数。

8. 如权利要求 1 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，输入波导与所述的阵列波导光栅的每条波导之间的幅值耦合系数经过调整使得输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布具有预先决定的分布函数，以使得每个通道的频谱响应曲线的顶部足够平坦而边缘足够陡。

9. 如权利要求 8 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，所述的预先决定分布函数是一个 sinc 函数除以一个高斯函数，所述 sinc 函数基本上和所需的频谱响应函数的傅立叶逆变换一致，而所述高斯函数基本上和输出波导的模场分布函数的傅立叶逆变换相同，该傅立叶变换与聚焦星型耦合器的光学性质相对应。

10. 如权利要求 9 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，所述阵列波导光栅的每条波导的长度要做调整，除了在相邻波导之间产生等于某一给定通道波长的  $2\pi$  的整数倍相位差外，还要补偿由上述耦合器引入的相位差，并在所述这些波导中，产生上述预先决定的输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布函数为负值时所需的  $\pi$

相移。

11. 一种非对称阵列波导光栅器件，其组成包括：

至少一条输入波导，其传输多个不同波长的复合信号；

一输入分束耦合器，与所述的输入波导相连接，并接收来自输入波导的复合信号；

一阵列波导光栅，其由多条不同长度的波导所组成，并与所述输入分束耦合器连接；

一星型聚焦耦合器，连接所述的阵列波导光栅，它将不同波长的信号的角色散转化为有一条聚焦线的空间位移色散；

多条输出波导，其与所述星型聚焦耦合器耦合，各条输出波导尾端就排列在星型聚焦耦合器的聚焦线上，并分别传输一个不同波长的光信号；

其特征在于，所述的输入分束耦合器，连接所述的阵列波导光栅和输入波导，其输入波导和阵列波导光栅的每一条波导间的耦合系数有一个确定的分布，使得输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布是一个 sinc 函数除以一个高斯函数，以获得频谱响应曲线的顶部平坦及边沿陡峭。

12. 如权利要求 11 所述的非对称阵列波导光栅器件，

其特征在于，所述的 sinc 函数是通过所需频谱响应作傅立叶逆变换获得的，所述高斯函数则是对单通道输出波导的模场分布作傅立叶逆变换获得的，而该傅立叶变换与聚焦星型耦合器的光学性质相对应。

13. 如权利要求 12 所述的非对称阵列波导光栅器件，

其特征在于，所述阵列波导光栅的每条波导的长度要做调整，除了在相邻波导之间产生等于某一给定通道波长的  $2\pi$  的整数倍相位差外，还要补偿由所述输入分束耦合器引入的相位差，并在一些波导中，产生上述预先决定的输出星型聚焦耦合器和阵列波导的连接处的场分布函数为负值时所需的  $\pi$  相移。

14. 如权利要求 13 所述的非对称阵列波导光栅器件，

其特征在于，所述的阵列波导与输入分束耦合器交界处，其每条波导尾端的位置和输入波导尾端之间有不同的距离。

15. 如权利要求 13 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征在于，在所述的阵列波导光栅中，其每条波导和输入分束耦合器的连接端有不同的入口宽度。

16. 如权利要求 15 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征在于，在所述的阵列波导光栅中，其每条波导和输入分束耦合器的连接端之间有不同的波导中心至中心距离，这样使总的耦合效率最大。

17. 如权利要求 13 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征在于，在所述的阵列波导光栅中，其每条波导的连接端位于以输入波导末端为中心的圆弧上，但是有不同的入口宽度和不同的波导间中心距离，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数，同时使总的耦合效率最大。

18. 如权利要求 13 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征在于，所述的输入分束耦合器是一多级  $1 \times 2$  Y 型波导输入分束耦合器，所述阵列波导光栅的每条波导的连接端连接到多级  $1 \times 2$  Y 型波导输入分束耦合器波导的末端。

19. 如权利要求 18 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征在于，所述的多级输入分束耦合器是非对称的 Y 型波导耦合器，有非平衡的耦合系数，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数。

20. 一种非对称阵列波导光栅器件，其组成包括：

至少一条输入波导，其传输多个不同波长的复合信号；

一输入分束耦合器，与所述的输入波导相连接，并接收来自输入波导的复合信号；

一阵列波导光栅，其由多条不同长度的波导所组成，并与所述输入分束耦合器连接；

一星型聚焦耦合器，连接所述的阵列波导光栅，它将不同波长的信号的角色散转化为有一条聚焦线的空间位移色散；

多条输出波导，其与所述星型聚焦耦合器耦合，各条输出波导尾端就排列在星型聚焦耦合器的聚焦线上，并分别传输一个不同波长的光信号；

其特征在于，还包括一个光衰减器或放大器，其至少使用在所述阵列波导光栅中的一部分波导中，它们与所述的输入波导和阵列波导光栅的波导的耦合系数相结合，使得在阵列波导光栅和输出端聚焦星型耦合器的界面处产生了一个确定的光强分布函数，这个光强分布函数等于一个 sinc 函数除以一个高斯函数，从而获得一个顶部平坦两边陡峭的通道光谱响应曲线。

21. 如权利要求 20 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，所述的 sinc 函数是通过对所需频谱响应作傅立叶逆变换获得的，所述高斯函数则是对单通道输出波导的模场分布作傅立叶逆变换获得的，而该傅立叶变换与聚焦星型耦合器的光学性质相对应。

22. 如权利要求 21 所述的非对称阵列波导光栅器件，其特征不在于，所述阵列波导光栅的每条波导的长度要做调整，除了在相邻波导之间产生等于某一给定通道波长的  $2\pi$  的整数倍相位差外，还要补偿由所述输入分束耦合器引入的相位差，并在一些波导中，产生所述预先决定的输出耦合器和阵列波导的连接处的场分布函数为负值时所需的  $\pi$  相移。

23. 一种非对称阵列波导光栅器件，其组成包括：

至少一条输入波导，其传输多个不同波长的复合信号；

一输入分束耦合器，与所述的输入波导相连接，并接收来自输入波导的复合信号；

一阵列波导光栅，其由多条不同长度的波导所组成，并与所述输入分束耦合器连接；

一星型聚焦耦合器，连接所述的阵列波导光栅，它将不同波长的信号的角色散转化为有一条聚焦线的空间位移色散；

多条输出波导，其与所述星型聚焦耦合器耦合，各条输出波导尾端就排列在星型聚焦耦合器的聚焦线上，并分别传输一个不同波长的光信号；

其特征在于，所述输入分束耦合器是一多级  $1 \times 2$  Y 型波导耦合器，阵列波导光栅的每一条波导的尾端连接到该耦合器的波导尾端。

24. 如权利要求 23 所述的非对称阵列波导光栅器件，  
其特征在于，至少有一些所述的多级  $1 \times 2$  Y 型波导耦合器有非平衡的耦合系数，这样使耦合到所述的阵列波导光栅的每条波导的能量具有预先决定的分布函数。

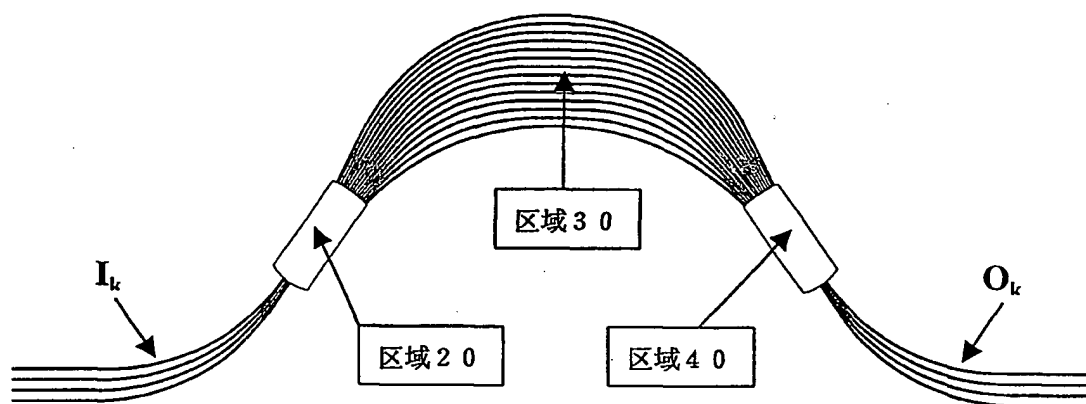


图 1

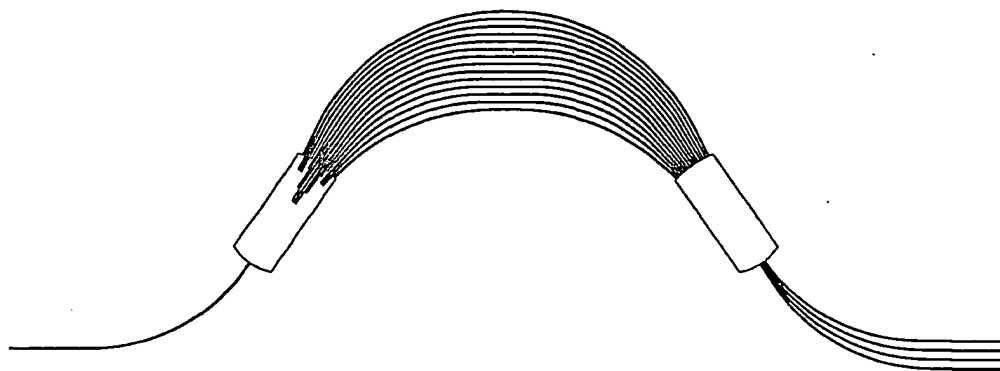


图 2a

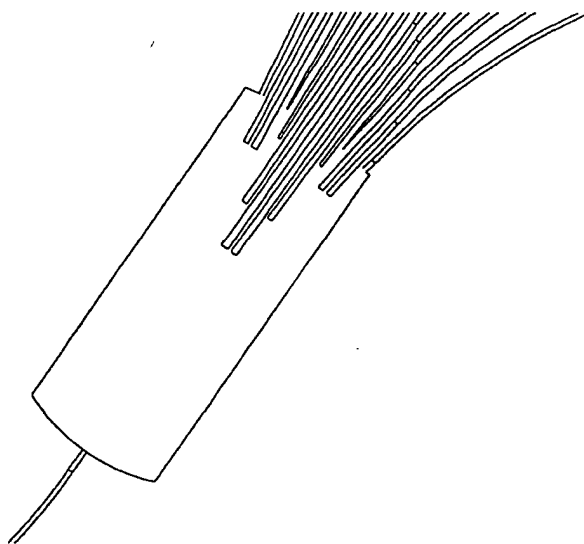


图 2b

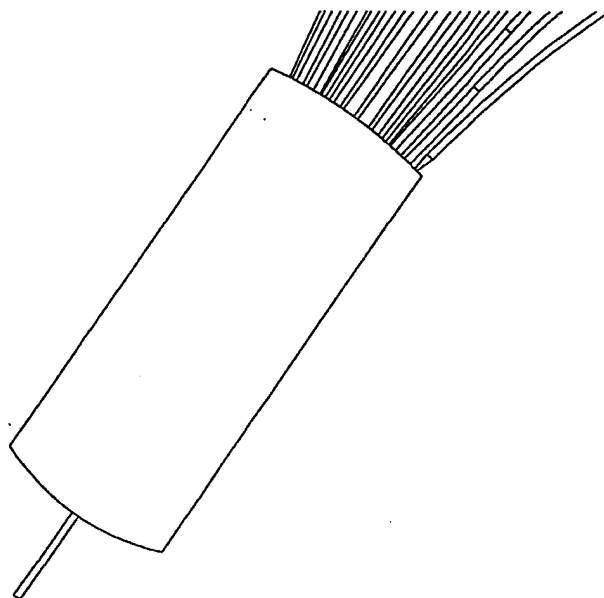


图 3

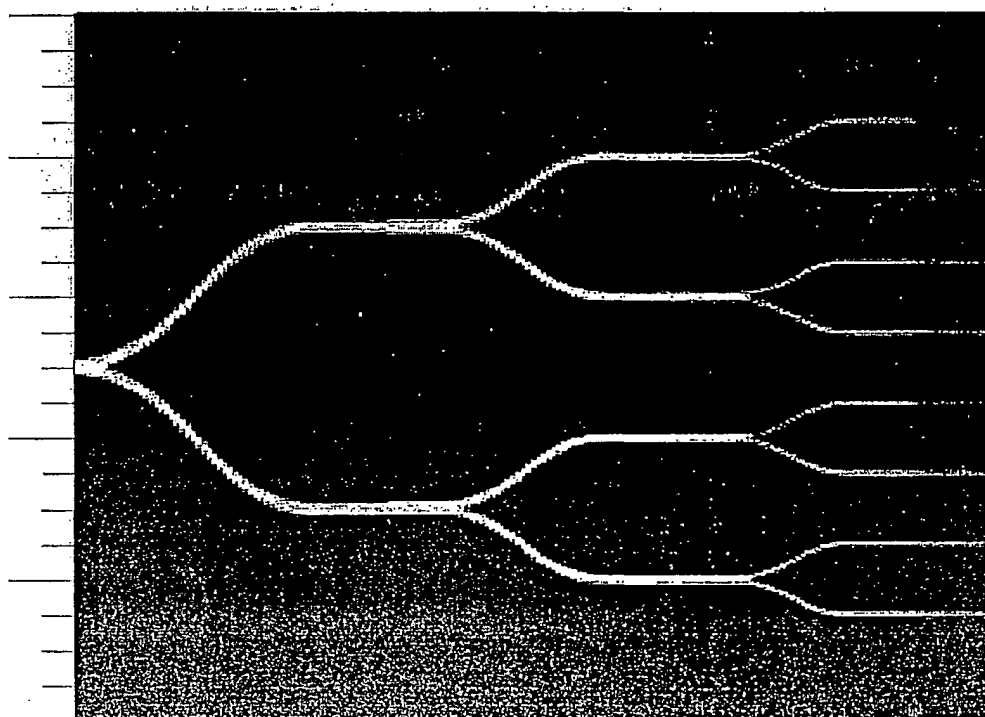


图 4



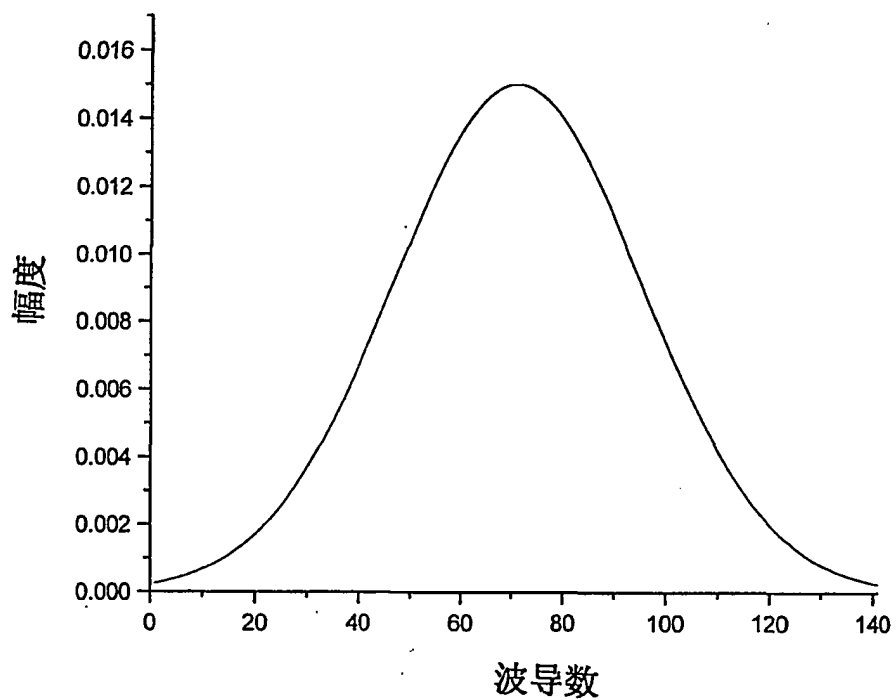


图 5

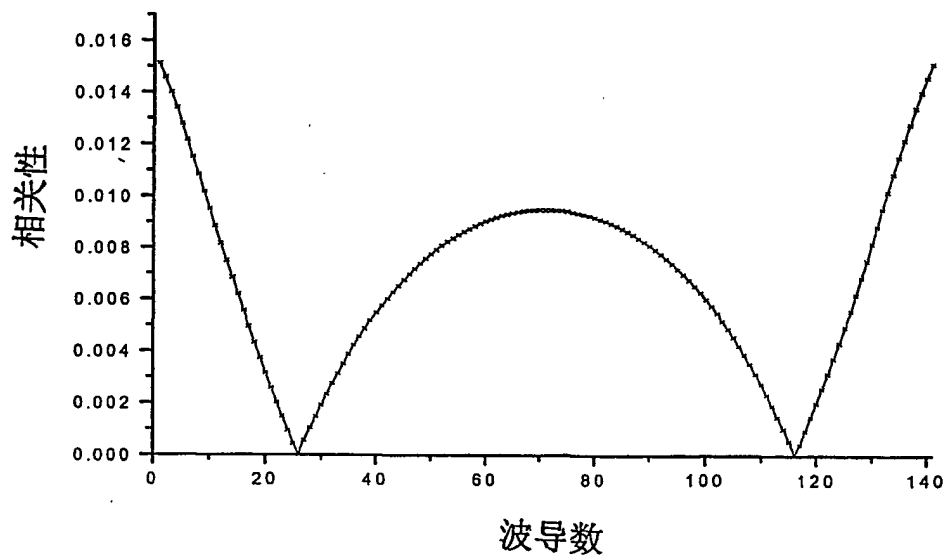


图 6a

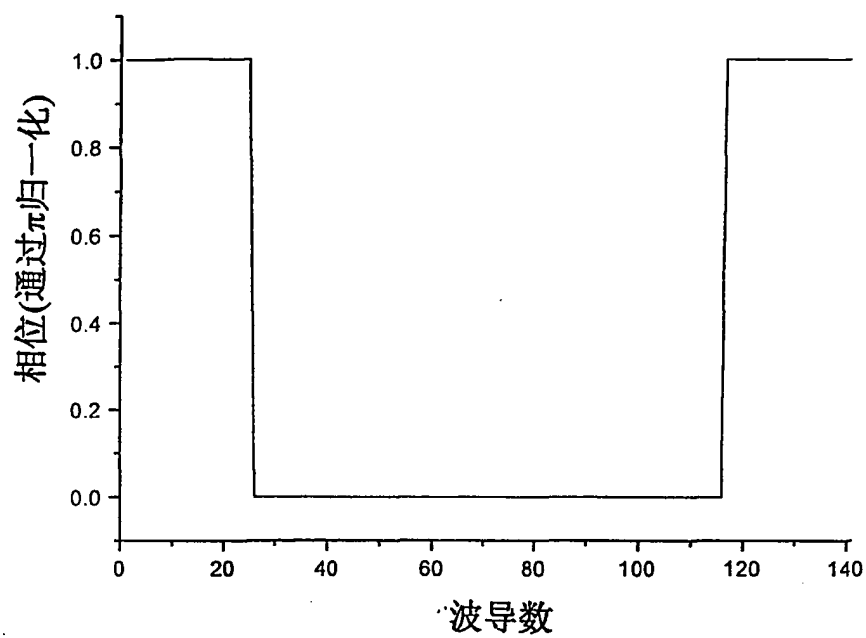


图 6b

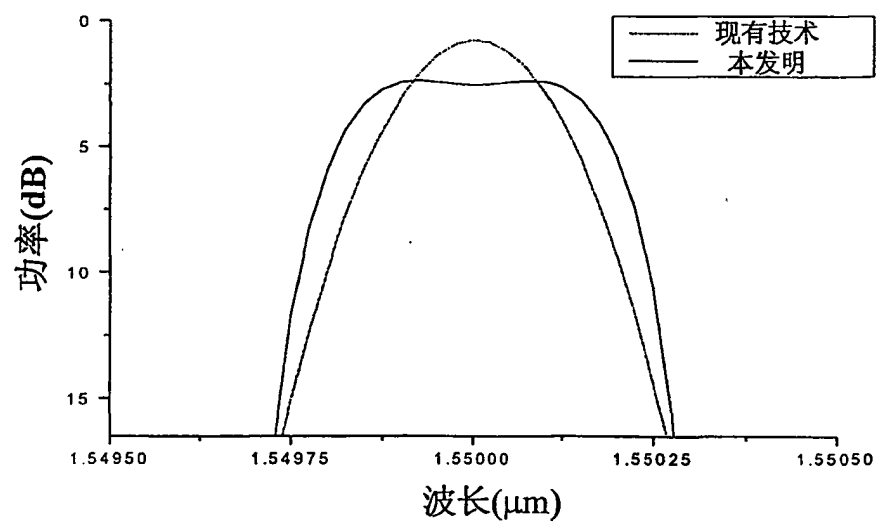


图 7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN01/01158

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC<sup>7</sup>: G02B 6/34, 6/293, H04J14/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED IPC<sup>7</sup>: G02B, H04J

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched


Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No.    |
|-----------|--|--------------------------|
| X/Y       | GB.2334594, 25, Aug. 1999, p6 line30-p9 line24, p20 line8-p21 line22 and Fig.1,23  | 1,2,6,7,20,21-24 / 3-5,8 |
| Y         | US.5982960 9, Nov. 1999, Fig.4,5 and Col.4   | 3-5,8                    |
| Y         | US.5841919 24, Nov. 1998, Fig.9 and Col.8  | 3-5,8                    |
| A         | JP11-352343 24, Dec. 1999, whole   | 1,9,10                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

|   |  |
|---|--|
| * Special categories of cited documents:  | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone   |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date   | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "I." document which may throw doubts on priority claim (S) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family  |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  |  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed  |  |

|   |  |
|---|--|
| Date of the actual completion of the international search<br>22, Mar. 2002  | Date of mailing of the international search report<br>30 MAY 2002  |
| Name and mailing address of the ISA/CN<br>6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District,<br>100088 Beijing, China<br>Facsimile No. 86-10-62019451 | Authorized officer<br><br>Telephone No. |

Form PCT/ISA /210 (second sheet) (July 1998)

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN01/01158

| Document cited<br>in the search report | Publication date | Document family<br>member(s)                           | Publication date   |
|--|------------------|--|--|
| GB.2334594                             | 25. 08. 1999     | US.6339664<br>AU.2630599<br>EP.1060424<br>WO.9942872   | 15. 02. 2002<br>06. 09. 1999<br>20. 12. 2000<br>26. 08. 1999 |
| US.5982960                             | 09. 11. 1999     | CA.2212975<br>DE.19737000<br>FR.2758675<br>JP.10206663 | 22. 07. 1998<br>23. 07. 1998<br>24. 07. 1998<br>07. 08. 1998 |
| US.5841919                             | 24. 11. 1998     | EP.0822428<br>CA.2198836<br>JP.10048440                | 04. 02. 1998<br>02. 02. 1998<br>20. 02. 1998                 |
| JP.11-352343                           | 24. 12. 1999     | None   |  |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN01/01158

## A. 主题的分类

IPC<sup>7</sup>: G02B 6/34, 6/293, H04J14/02B. 检索领域: IPC<sup>7</sup>: G02B, H04J

检索的最低限度文献(标明分类体系和分类号)

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称和, 如果实际可行的, 使用的检索词)

## C. 相关文件

| 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落   | 相关的权利要求编号                |
|------|---|--------------------------|
| X/Y  | GB.2334594 25, 8 月 1999, 第 6 页 30 行-第 9 页 24 行, 第 20 页 8 行-第 21 页以及图 1 和 23 | 1,2,6,7,20,21-24 / 3-5,8 |
| Y    | US.5982960 9, 11 月 1999, 图 4,5 及第 4 栏                                       | 3-5,8                    |
| Y    | US.5841919 24, 11 月 1998, 图 9 及第 8 栏  | 3-5,8                    |
| A    | JP11-352343 24, 12 月 1999, 全文   | 1,9,10                   |

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

## \* 引用文件的专用类型:

“A” 明确叙述了被认为不是特别相关的一般现有技术的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先的申请或专利

“L” 可能引起对优先权要求的怀疑的文件, 为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布的在后文件, 它与申请不相抵触, 但是引用它是为了理解构成发明基础的理论或原理

“X” 特别相关的文件, 仅仅考虑该文件, 权利要求所记载的发明就不能认为是新颖的或不能认为是有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 权利要求记载的发明不具有创造性

“&amp;” 同族专利成员的文件

国际检索实际完成的日期

22, 3 月 2002

国际检索报告邮寄日期

30. 5 月 2002 (02.05.30)

国际检索单位名称和邮寄地址

ISA/CN

中国北京市海淀区西土城路 6 号(100088)

传真号: 86-10-62019451

授权官员

电话号码: 86-10-



国际检索报告  
关于同族专利成员的情报

国际申请号  
PCT/CN01/01158

| 检索报告中引用的<br>专利文件 | 公布日期         | 同族专利成员      | 公布日期         |
|------------------|--------------|-------------|--------------|
| GB.2334594       | 25. 08. 1999 | US.6339664  | 15. 02. 2002 |
|                  |              | AU.2630599  | 06. 09. 1999 |
|                  |              | EP.1060424  | 20. 12. 2000 |
|                  |              | WO.9942872  | 26. 08. 1999 |
| US.5982960       | 09. 11. 1999 | CA.2212975  | 22. 07. 1998 |
|                  |              | DE.19737000 | 23. 07. 1998 |
|                  |              | FR.2758675  | 24. 07. 1998 |
|                  |              | JP.10206663 | 07. 08. 1998 |
| US.5841919       | 24. 11. 1998 | EP.0822428  | 04. 02. 1998 |
|                  |              | CA.2198836  | 02. 02. 1998 |
|                  |              | JP.10048440 | 20. 02. 1998 |
| JP.11352343      | 24. 12. 1999 | None        |              |